TEMA 17.-

INTRODUCCIÓN A LA FÍSICA DEL NÚCLEO

SUMARIO:

17.1.- Física del núcleo: definiciones
17.2.- Energías de enlace y fuerzas nucleares
17.3.- Radiactividad natural:
Partículas radiactivas
Modos de desintegración
Series radiactivas
Ley de desintegración radiactiva
17.4.- Radiactividad artificial:
Fisión nuclear
Fusión nuclear

Actividades desarrolladas
Actividades propuestas

1.- FÍSICA del NÚCLEO: DEFINICIONES

- Un núcleo está formado por protones y neutrones ligados.

Queda representado por $^{A}_{Z}X$ donde

X: es el símbolo del elemento.
Z: se denomina ***número atómico.*** Es igual al número de protones e igual a la carga eléctrica del núcleo.
A: se llama ***número másico.*** Es igual al número total de nucleones, es decir de protones más neutrones.

Por lo tanto, si nombramos por N el nº de neutrones, se tiene: N = A – Z.

- Núcleos con igual Z pero distinta A se denominan ***isótopos.*** Ejemplo: $^{82}_{36}Kr$ y $^{84}_{36}Kr$

  Núcleos con igual A pero distinta Z se denominan ***isóbaros.*** Ejemplo: $^{82}_{36}Kr$ y $^{82}_{34}Se$

- Una unidad básica de masa es la unidad atómica de masa (u):

  1 unidad atómica de masa es 1/12 de masa del núcleo $^{12}_{6}C$:

$$1\ u = \frac{1}{12}\frac{12x10^{-3}}{6.0225x10^{23}}kg = 1.66x10^{-27}kg$$

Teniendo en cuenta la ecuación de Einstein, la energía que corresponde a la masa de 1 u es:

$$E = mc^2 = 1.66x10^{-27}(3x10^8)^2\ J =$$
$$=1.49x10^{-10}J = \frac{1.49x10^{-10}}{1.6021x10^{-19}}eV = 9.3147x10^8\ eV = 931.47\ MeV/u.$$

2.- ENERGÍAS DE ENLACE Y FUERZAS NUCLEARES

Los protones y neutrones permanecen ligados en el núcleo a causa de la existencia de las fuerzas nucleares derivadas de la denominada interacción fuerte. Estas fuerzas hacen que la energía del núcleo sea negativa, lo que será posible si en la formación del núcleo se libera cierta cantidad de energía a partir de la que poseen los nucleones en estado libre. Eso significa que la masa del núcleo formado es inferior a la masa de los nucleones en estado libre. Dicha variación de masa (***defecto másico***), expresada en energía, da la medida de la ***energía de enlace*** del núcleo producida por las fuerzas nucleares. Sin embargo, la estabilidad del núcleo no depende de la energía de enlace total sino de su promedio por nucleón, ***energía de enlace por nucleón***, E_n. Su valor se obtiene así:

$$E_n = \frac{\Delta E}{A} = \frac{\Delta m.c^2}{A} = \frac{[Z.m_p + (A - Z)m_n - m_{ncl}]c^2}{A}$$

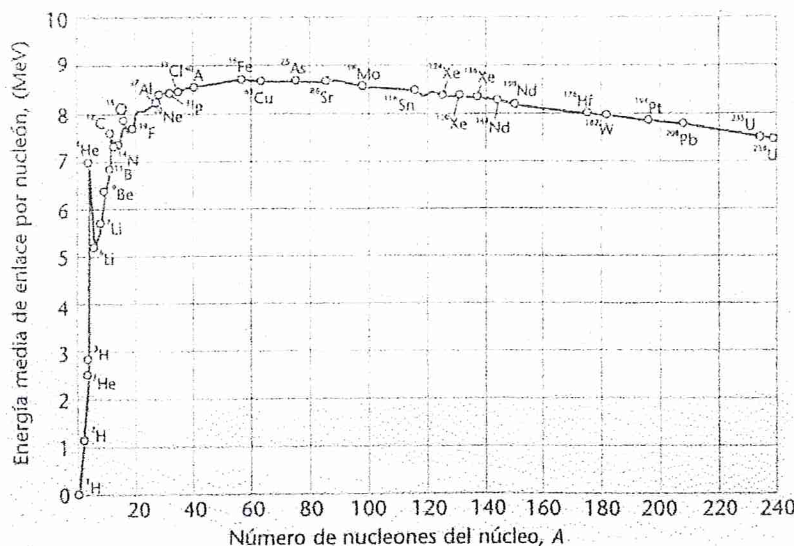
?

La energía de enlace por nucleón se interpreta como la contribución de cada nucleón a la estabilidad nuclear: cuanto mayor es E_n más fuertemente unidos están los nucleones, y por tanto más estable es el núcleo. Por ejemplo, $E_n(^{9}_{4}Be) \cong 6{,}23$ MeV/nucl



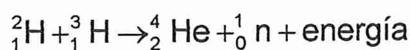
mientras que $E_n(^{32}_{16}S) \cong 8{,}23$ MeV/nucl, lo cual sugiere que los núcleos de $^{9}_{4}Be$ son menos estables que los de $^{32}_{16}S$.

Si representamos gráficamente la energía de enlace por nucleón en función del nº másico A, obtenemos la gráfica de la figura. La máxima estabilidad corresponde a valores de A del orden de 60, siendo E_n de casi unos 9 MeV/nucleón.



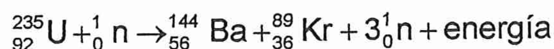
Esta gráfica nos permite explicar los procesos de fisión y de fusión nucleares:

+ Dos núcleos ligeros se unen dando lugar a otro más pesado y por tanto más estable: este proceso de ***fusión nuclear*** tiene lugar liberando energía:



$$^{2}_{1}H + ^{3}_{1}H \rightarrow ^{4}_{2}He + ^{1}_{0}n + \text{energía}$$

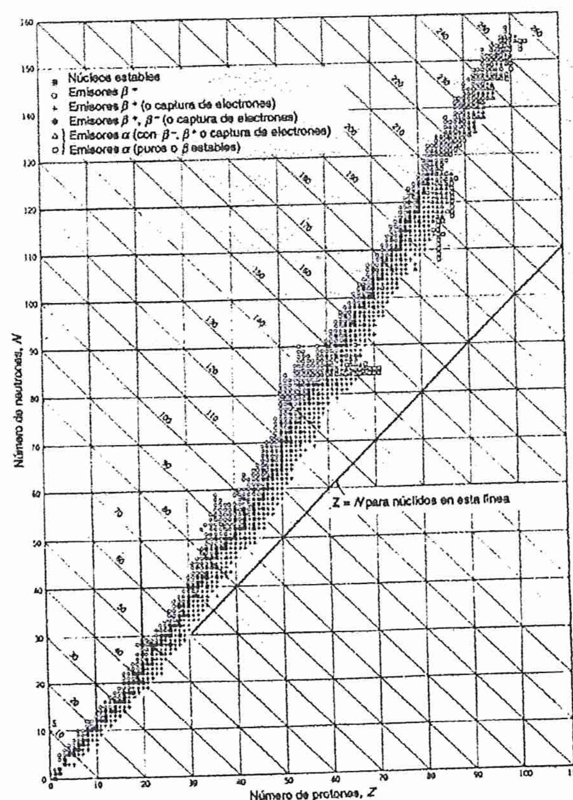
+ Un núcleo pesado puede romperse en dos más ligeros de forma que estas fracciones sean más estables que el núcleo de partida; este proceso de ***fisión nuclear*** se realiza también con desprendimiento de energía:



$$^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{144}_{56}Ba + ^{89}_{36}Kr + 3^{1}_{0}n + \text{energía}$$

Para la estabilidad nuclear, el nº de protones y de neutrones tiene que guardar una cierta relación.

Representando gráficamente los núcleos estables, encontramos que se distribuyen según una banda, tal como muestra la figura.



Un núcleo fuera de esta banda es inestable, y por tanto se desintegra. Se observa que, al aumentar el nº de protones Z en el núcleo, el de neutrones N aumenta más rápidamente.

3.- RADIACTIVIDAD NATURAL

Se entiende por ***radiactividad*** el fenómeno por el cual algunas sustancias son capaces de emitir radiaciones que impresionan placas fotográficas, ionizan gases, producen fluorescencia, atraviesan cuerpos opacos a la luz ordinaria, etc. A los elementos químicos que presentan estas propiedades se los denomina radiactivos (por ejemplo, el uranio, el radio o el polonio).

Los esposos Curie demostraron que tales fenómenos están directamente vinculados con el núcleo atómico: un núcleo inestable se desintegra, emitiendo determinados materiales radiactivos, que estudiaremos. Tales procesos son independientes de las condiciones externas (presión, temperatura, etc.); son espontáneos y sus emisiones no controlables desde el exterior.

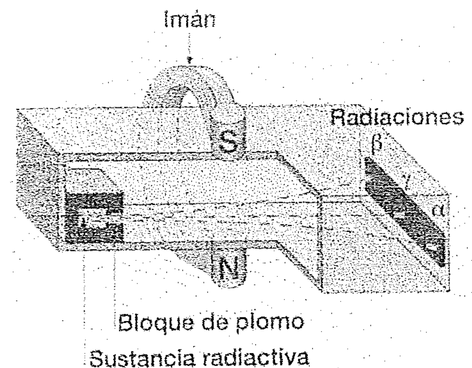
A.- PARTÍCULAS RADIACTIVAS:

Las partículas emitidas se denominan:

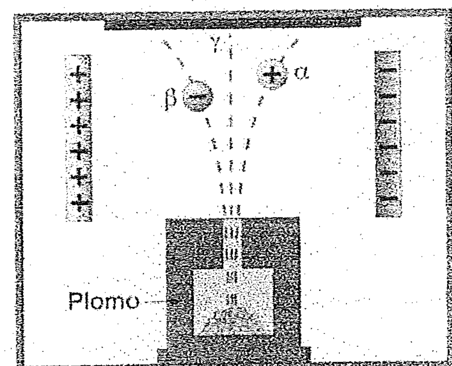
+ radiación alfa, α — iones de helio, doblemente positivos
+ radiación beta, β — electrones de gran velocidad
+ radiación gamma, γ — radiación electromagnética de muy alta frecuencia

Véanse en los siguientes dibujos el comportamiento de las partículas emitidas frente a campos eléctricos o magnéticos.

Y asimismo, las características de esas radiaciones: su naturaleza, carga eléctrica, su velocidad de salida y energía (aproximadamente), su poder de ionización y de penetración relativos.



	α	β	γ
Naturaleza	Núcleos de helio $^{4}_{2}He^{2+}$	Electrones $^{0}_{-1}e$	Fotones de energía $h\nu$
Carga eléct. (e)	+2e	- e	0
Velocidad (c)	0.05 c	0.9 c	c
Energía (MeV)	7	1	0.2
Poder ionizante	10^4	10^2	10^0
Poder de penetración	10^0	10^2	10^4



B.-MODOS DE DESINTEGRACIÓN:

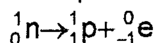
Las formas básicas en que se desintegra un núcleo radiactivo son:

1.- Desintegración alfa: $^{A}_{Z}X \rightarrow ^{A-4}_{Z-2}Y + ^{4}_{2}He$

Este tipo de desintegración se produce en núcleos pesados, Z > 80

2.- Desintegración beta: $^{A}_{Z}X \rightarrow ^{A}_{Z+1}Y + ^{0}_{-1}e + \overline{\nu}$

$\overline{\nu}$ representa un antineutrino electrónico, partícula sin carga eléctrica y con masa despreciable (< $2x10^{-4}$ MeV).

En esta desintegración, debido a fuerzas de interacción débil, un neutrón del núcleo radiactivo se transforma en un protón, expulsando un electrón (β) según la reacción nuclear:  $^{1}_{0}n \rightarrow ^{1}_{1}p + ^{0}_{-1}e$

3.- Desintegración gamma: $^{A}_{Z}X^{*} \rightarrow ^{A}_{Z}X + \gamma$

El núcleo que emite radiación gamma se encuentra en un estado excitado (con exceso de energía). Mediante la emisión de radiación gamma se desexcita, volviendo a su estado fundamental. Por tanto, la emisión de radiación gamma no altera el nº atómico ni el másico del núcleo que emite.

De acuerdo con lo anterior, vemos que se verifican las siguientes leyes (***Leyes de Soddy***):

+ Cuando un átomo emite una partícula α se transforma en otro situado dos lugares antes en la tabla periódica (Z - 2), con cuatro nucleones menos (A – 4).
Ejemplo: $^{238}_{92}U \rightarrow ^{234}_{90}Th + ^{4}_{2}He$

+ Cuando un átomo emite una partícula β se transforma en otro situado un lugar siguiente en la tabla periódica (Z + 1), sin variar el número total de nucleones A; el núcleo "hijo" es isobaro. Ejemplo: $^{234}_{90}Th \rightarrow ^{234}_{91}Pa + ^{0}_{-1}e$

+ La emisión γ no altera ni el nº atómico ni el másico del elemento que emite.

C.- SERIES RADIACTIVAS (Lectura: Física 2, Ed.Bruño)

En la actualidad se conocen unas mil ochocientas especies nucleares (núclidos), que corresponden a unos ciento diez elementos. De todos los núclidos, menos de cuatrocientos se encuentran en la naturaleza y, por tanto, unos mil cuatrocientos son artificiales, es decir, han sido obtenidos por los científicos en los laboratorios. De los cuatrocientos núclidos naturales, unos setenta son radiactivos, pero la mayoría provienen de la desintegración de tres núclidos distintos: torio-232 ($^{232}_{90}Th$), uranio-238 ($^{238}_{92}U$) y uranio-235 ($^{235}_{92}U$).

Cada uno de estos tres núclidos, al desintegrarse, da lugar a un nuevo núclido radiactivo, y éste, a otro distinto, formando así lo que se llama una ***serie*** o ***familia radiactiva*** que termina en un núclido estable que, como se observa en la página 332, es un núcleo de plomo. Los tiempos que se indican corresponden al periodo de semidesintegración del núclido; recuérdese que, cuanto mayor sea su periodo de semidesintegración, mayor es su estabilidad.

Las tres familias radiactivas naturales se conocen con el nombre de su primer núcleo, excepto la del uranio-235, que se conoce como la serie del actinio; por tanto, son las series ***del torio***, ***del uranio*** y ***del actinio***. Al analizar estas series se observa que los núclidos que las forman tienen un número másico que sigue la relación:

+ Familia del torio: $A = 4n$ $(52 \leq n \leq 58)$

+ Familia del uranio: $A = 4n + 2$ $(51 \leq n \leq 59)$

+ Familia del actinio: $A = 4n + 3$ $(51 \leq n \leq 58)$

En la naturaleza no se encuentran los elementos que podrían formar la familia radiactiva con núclidos de número másico $A = 4n + 1$, pero esta serie se ha obtenido artificialmente: es la serie ***del neptunio***, cuyo primer núcleo es el plutonio-241 ($^{241}_{94}Pu$) y termina con el bismuto-209. El elemento con vida más larga de esta serie radiactiva artificial es el neptunio ($^{237}_{93}Np$), que tiene un periodo de semidesintegración de 2,2 millones de años. Teniendo en cuenta que la edad de la Tierra es de unos $5x10^9$ años, el tiempo transcurrido hace imposible que se puedan detectar elementos radiactivos de la familia del neptunio.

D.- Ley de desintegración radiactiva.- Constantes radiactivas

Los átomos de un elemento radiactivo son inestables e irremediablemente terminan por transmutarse en otros elementos. Ahora bien, no es posible predecir cuándo un determinado átomo se desintegrará; de ahí que estos fenómenos se deban estudiar bajo el punto de vista estadístico.

Experimentalmente se ha visto que el nº de núcleos que se desintegran por unidad de tiempo (velocidad de desintegración) es proporcional al nº de núcleos que contiene una muestra. Por tanto, llamemos N al nº de núcleos radiactivos, sin desintegrar, que hay en la muestra en un instante t. Sea dN el nº de los que se desintegran en un tiempo elemental dt.

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N \quad \Leftrightarrow \quad dN = -\lambda N.dt$$

(el signo menos expresa que, al irse desintegrando, el nº de núcleos por desintegrar disminuye en la muestra). La constante λ se denomina ***constante radiactiva***, depende de la sustancia radiactiva en cuestión y se mide en s^{-1} .

Si en $t = 0$ es N_0 el nº de núcleos de la muestra, por integración podemos calcular el nº N que hay en el instante t:

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N \qquad \int_{N_0}^{N} \frac{dN}{N} = -\lambda \int_0^t dt \qquad \ln \frac{N}{N_0} = -\lambda .t$$

$$\Rightarrow \qquad \boxed{N = N_0 e^{-\lambda t}}$$

Esta es la ***ecuación de desintegración radiactiva***. Constata que el nº de núcleos radiactivos en una muestra desciende exponencialmente con el tiempo.

Se denomina ***actividad radiactiva*** **A** de la muestra a $A \equiv \left|\frac{dN}{dt}\right| = \lambda N$. Es una magnitud medible experimentalmente con detectores de emisión. Se mide en becquerel:

1 Bq =1desintegración/s

Es proporcional al nº de núcleos radiactivos, por lo que haciendo $A = \lambda.N$ y $A_0 = \lambda.N_0$, también se verificará:

$$A = A_0 e^{-\lambda.t}$$

Se llama ***periodo de semidesintegración,*** $T_{1/2}$ al tiempo transcurrido para que una muestra radiactiva se reduzca a la mitad. O sea, en ese periodo se desintegra la mitad de los núcleos radiactivos que había al principio. Se calcula haciendo $N = N_0/2$ en la ecuación de desintegración:

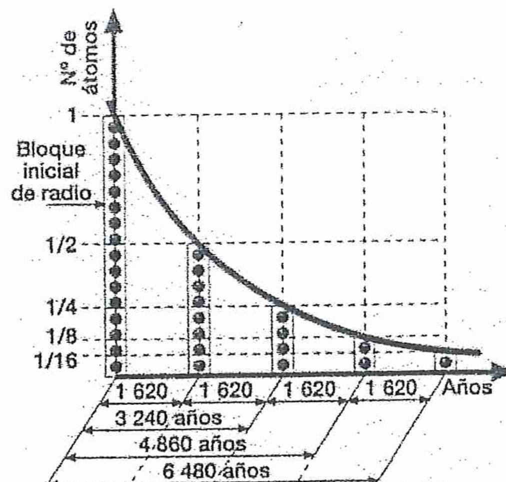
$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda.T_{1/2}} \rightarrow \frac{1}{2} = e^{-\lambda.T_{1/2}} \rightarrow \lambda.T_{1/2} = \ln 2 \rightarrow$$

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda} = 0.693\ \tau$$

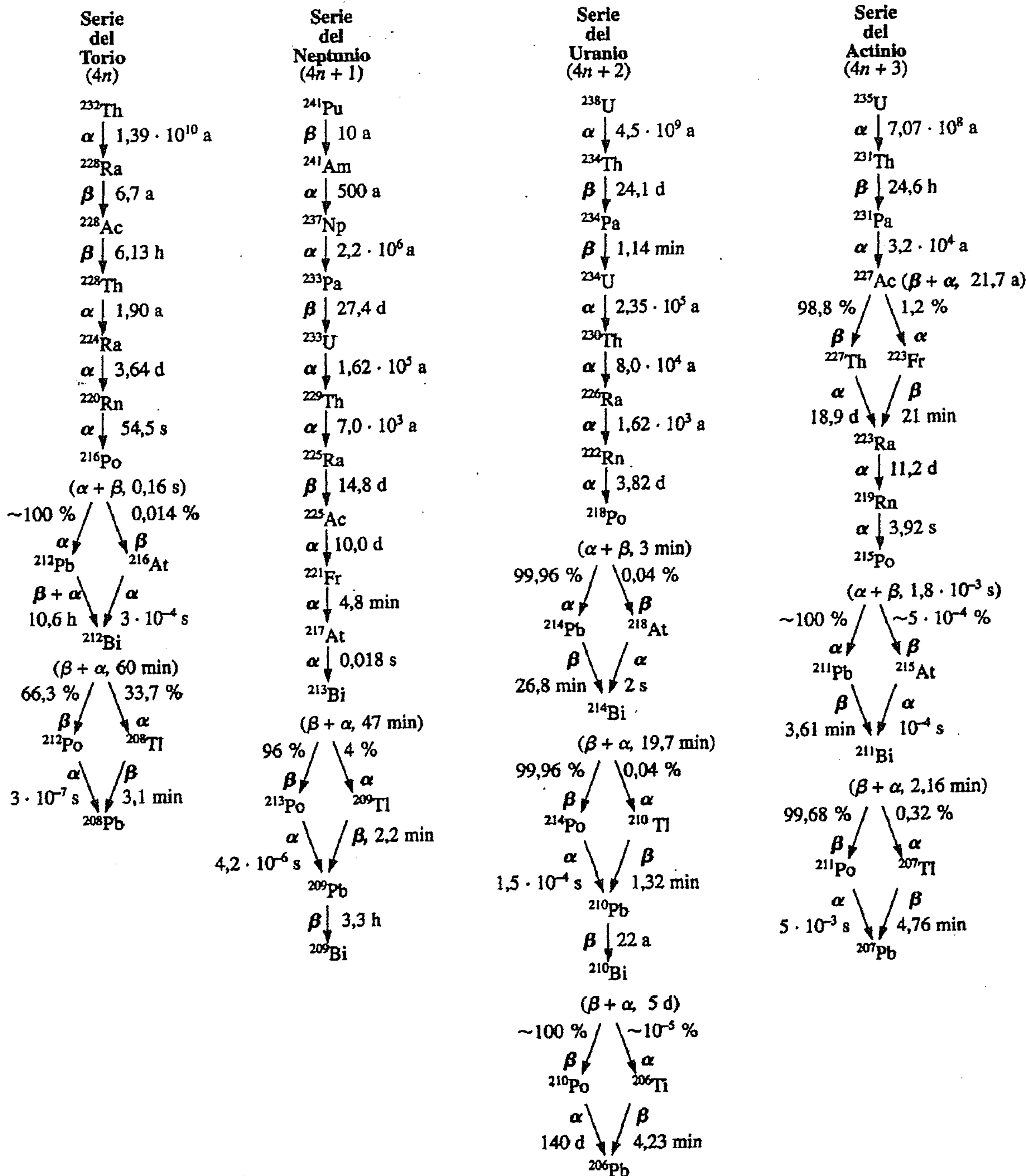
El periodo de semidesintegración $T_{1/2}$ es característico de cada sustancia radiactiva. Así, para el radio es de unos 1620 años, para el protactinio es unos 32000 años, para el radón 3,82 días, ...

La constante $\tau = 1/\lambda$ se denomina ***vida media***, se expresa lógicamente en segundos, y representa el tiempo promedio necesario para que se produzca una desintegración.

La gráfica adjunta muestra la desintegración, por ejemplo del radio: en ordenadas se representan cantidades de radio N(t) y en abscisas la variable tiempo. En dicho eje se han señalado sucesivos periodos de semidesintegración, $T_{1/2}$. Obsérvese en ella cómo se trata de una función exponencial.



Series o familias radiactivas



(a = años; d = días; h = horas; min = minutos; s = segundos.)

3.- RADIACTIVIDAD ARTIFICIAL

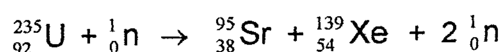
A.- FISIÓN NUCLEAR

El neutrón, debido a su nula carga eléctrica, es una de las partículas más apropiadas para ser empleada como proyectil en reacciones nucleares pues, al no tener que vencer ninguna «barrera de potencial», llega fácilmente al núcleo atómico.

En 1939 Otto Hann y colaboradores observaron que el núcleo de uranio, bombardeado con neutrones lentos, se hacía inestable y se desdoblaba en dos núcleos ligeros de números másicos comprendidos entre 72 y 149 y con números atómicos que oscilaban entre 34 y 57. Se producía, a la vez, una enorme liberación de energía y desprendimiento de nuevos neutrones capaces de continuar el proceso, al que se denominó ***fisión nuclear***. Se comprobó, asimismo, que entre los posibles isótopos de uranio era el U-235 el más susceptible de fisión, detectándose que la energía liberada en la escisión de uno de estos átomos es del orden de 200 MeV.

Un simple balance de masa-energía nos permite efectuar este cálculo:

Sea un átomo de uranio-235 que en su fisión genera un núcleo de estroncio-95 y otro de xenón-139, con emisión de 2 neutrones:



$$^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{95}_{38}Sr + ^{139}_{54}Xe + 2\,^{1}_{0}n$$

Masa de los núcleos iniciales:	$^{235}_{92}U$	235,0439 u
	$^{1}_{0}n$	1,0086 u
		236,0515 u
Masa de los núcleos finales:	$^{95}_{38}Sr$	94,9403 u
	$^{139}_{54}Xe$	138,9301 u
	$2\,^{1}_{0}n$	2,0173 u
		235,8877 u

Se observa una pérdida o defecto de masa igual a 0,1638 u que, expresado en términos de energía, equivale a:

$$E = 0,1638 \text{ u} \times 931,47 \text{ MeV/u} = 152,57 \text{ MeV}$$

• *REACTORES NUCLEARES*

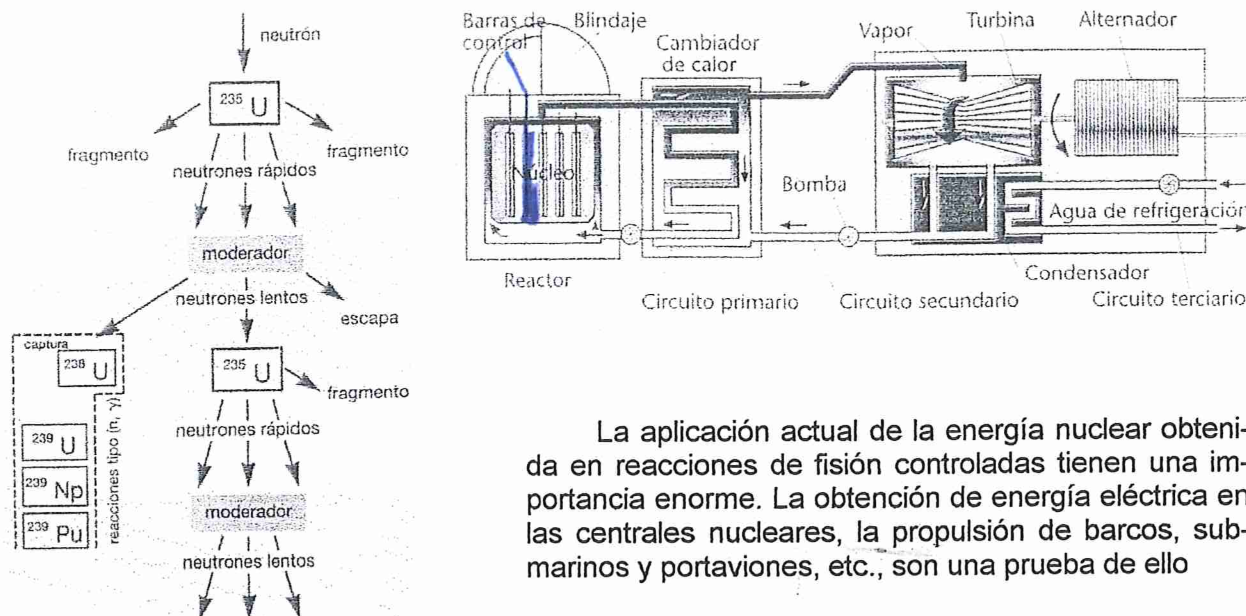
Una vez establecida y comprobada la realidad de la fisión nuclear y las posibilidades energéticas que ofrece, se pensó en la aplicación técnica de las reacciones de fisión como fuentes de energía.

Hasta 1939 la posibilidad de aprovechamiento de la energía liberada en las reacciones de fisión era muy teórica. A partir de esta fecha se encontró la posibilidad práctica de aprovechamiento de la energía nuclear, puesto que:

+ Por un lado se disponía de neutrones capaces de iniciar una reacción de fisión, en la cual se desprenden nuevos neutrones que permiten continuarla (reacción en cadena). Esta reacción debía ser explosiva y era necesario controlarla.

+ Por otro lado, se encontraron sustancias capaces de frenar los neutrones emitidos, permitiendo así un control efectivo de la reacción. A estas sustancias se las denominó moderadores, y las más usuales son: agua pesada, berilio, grafito ...

El primer reactor nuclear se construyó en Chicago (2 de diciembre de 1942) bajo la dirección de E. Fermi. Consistió en un bloque de grafito en el que se dispuso el uranio en forma de barras y donde se intercalaba el moderador.



La aplicación actual de la energía nuclear obtenida en reacciones de fisión controladas tienen una importancia enorme. La obtención de energía eléctrica en las centrales nucleares, la propulsión de barcos, submarinos y portaviones, etc., son una prueba de ello

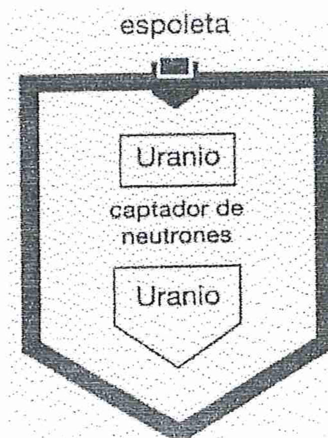
• *BOMBA ATÓMICA (A)*

Es un dispositivo diseñado para producir una reacción de fisión en cadena, que se genera y refuerza a velocidad explosiva.

El fundamento es el mismo que el del reactor nuclear, con la diferencia de que, en este caso, no se controla la reacción, haciéndose ésta explosiva.

Consta de dos trozos de uranio o plutonio cada uno de masa inferior a la crítica (mínima cantidad de material fisionable necesaria para que se inicie una reacción en cadena), que se mantienen separados y protegidos por materiales captadores de neutrones. De esta forma se evita la posible explosión durante el transporte del artefacto.

Mediante la acción de un explosivo clásico (bomba de dinamita), que actúa de «espoleta», se empujan los trozos de uranio uno contra otro, juntándolos. De este modo se consigue el «tamaño crítico», se inicia la reacción y ésta prosigue incontrolada.

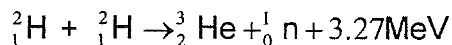


La historia de las investigaciones relativas a las explosiones nucleares, así como sus efectos demoledores y las consecuencias que se derivan son conocidos de todos. Es de esperar que la humanidad, consciente de las fuerzas que la naturaleza puso en su mano, sepa aprovecharlas para su bien y progreso.

B.- FUSIÓN NUCLEAR

Otra posibilidad de obtener energía nuclear es mediante unión la de núcleos ligeros, de baja energía de enlace, produciendo un núcleo más pesado, de mayor energía de ligadura por nucleón.

Por ejemplo, en la unión de dos núcleos de deuterio para dar uno de helio, resulta:



$$^{2}_{1}H + \, ^{2}_{1}H \rightarrow \, ^{3}_{2}He + \, ^{1}_{0}n + 3.27MeV$$

Para iniciar el proceso de fusión hay que comunicar a los núcleos reaccionantes una energía cinética muy elevada, necesaria para vencer la fuerte repulsión electrostática entre ellos, y que permita actuar las fuerzas nucleares de corto alcance y se logre la fusión.

La energía cinética requerida para iniciar la reacción se logra mediante temperaturas muy elevadas, del orden de centenares de millones de grados. En estas condiciones, los átomos están prácticamente ionizados y la materia consiste en una mezcla de núcleos positivos y electrones, que se denomina ***plasma***.

Iniciada la reacción, la energía liberada en cada fusión sirve de energía de activación para los núcleos restantes, y así se puede lograr una reacción automantenida, útil para generar energía.

La mayor dificultad del proceso es obtener y mantener el plasma, ya que los materiales convencionales no resisten estas elevadas temperaturas.

En 1952 se consiguió realizar la primera explosión de una bomba de hidrógeno (bomba-H), que opera mediante un proceso de fusión nuclear, pero la fusión controlada es un problema que aún no se ha resuelto a escala industrial como fuente de energía.

Paradójicamente, la fusión nuclear, no dominada aún por el hombre, se realiza continuamente en el Sol y en las estrellas, donde existe la temperatura requerida para realizar la reacción. En el Sol predomina el ciclo protón-protón, que en su conjunto es:

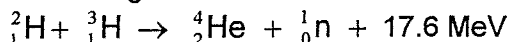


$$4 \, ^{1}_{1}H \rightarrow \, ^{4}_{2}He + 2 \text{ positrones} + 24{,}7 \text{ MeV}$$

Esta reacción y otras similares tuvieron lugar en el origen del Universo para proporcionar la materia en su estado inicial.

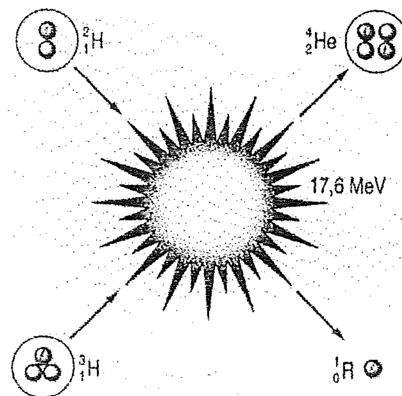
• *BOMBA DE HIDRÓGENO (H)*

La bomba H, o de hidrógeno, es la aplicación bélica de una reacción de fusión. Consiste en un dispositivo constituído por una masa de deuterio ($^{2}_{1}H$) y otra de tritio ($^{3}_{1}H$) y provisto de un detonador conveniente capaz de acelerar los núcleos y desencadenar la siguiente reacción:



$$^{2}_{1}H + \, ^{3}_{1}H \rightarrow \, ^{4}_{2}He + \, ^{1}_{0}n + 17.6 \text{ MeV}$$

Para iniciar esta reacción se necesita una temperatura del orden de los 600000 °C actuando durante una millonésima de segundo. Esto se consigue utilizando como detonador ¡una bomba atómica de fisión!



Reacción de fusión deuterio-tritio.

ACTIVIDADES DESARROLLADAS

1.- Calcular la energía de ligadura y la energía de ligadura por nucleón en el átomo de litio (A = 7; Z = 3).- Datos: Masa atómica del $^{7}_{3}Li$: 7,01645 u.- Masa del protón: 1,00756 u.- Masa del neutrón: 1,00893 u.- Masa del electrón: 0,00055 u. Nota: resolver el problema sin despreciar la masa del electrón.

La masa del $^{7}_{3}Li$ es M_{Li} = 7,01645 u

La masa de los nucleones y electrones es M'_{Li} = 3x1,00756 + 4x1,00893 + 3x0,00055 = 7,06005 u

El defecto de masa es ΔM = 7,06005 - 7,01645 = 0,0436 u

El defecto de masa, en kg, es $\Delta M = 0{,}0436 \text{ u x } \frac{1}{N_A} = 0{,}0436\text{ux}\frac{1}{6{,}022\text{x}10^{23}\text{ u/g}} = 7{,}240\text{x}10^{-26}\text{ g} =$

$$\Delta M = 7{,}240\text{x}10^{-29}\text{ kg}$$

La energía de ligadura es $\Delta E = \Delta M\, c^2 = 7{,}240\text{x}10^{-29}\text{ kg x } (3\text{x}10^8 \text{ m/s})^2 = 6{,}516\text{x}10^{-12}\text{ J}$

La energía de ligadura, en MeV, es teniendo en cuenta que 1 Mev = $1{,}6021\text{x}10^{-13}$J,

$$\Delta E = 6{,}516\text{x}10^{-12}\text{ J }/1{,}6021\text{x}10^{-13}\text{J/MeV} = 40{,}67\text{ Mev}$$

La energía por nucleón es $\frac{\Delta E}{A} = \frac{40{,}67}{7} = 5{,}81\,\text{MeV/nucleón}$

2.- Un gramo de radio emite $13{,}8\text{x}10^{10}$ partículas α por segundo. En una experiencia realizada durante 1 año se observó que con 1 g de radio, en ese tiempo, se recogieron 0,158 cm^3 de helio, medidos en condiciones normales. Se sabe que 1 litro de helio, en condiciones normales, pesa 0,179 g y que la masa atómica del helio es 4,003. A partir de estos datos deducir el número de Abogador (nº de partículas que hay en 1 mol).

Masa de helio recogida en 1 año: m(He) = $0{,}158\text{x}10^{-3}$litrosx0,179 g/litro = $2{,}8282\text{x}10^{-5}$ g

Moles de helio: $n = \frac{m(He)}{M(He)} = \frac{2{,}8282}{4{,}003}\frac{g}{g/mol} = 7{,}065 \text{ x } 10^{-6}\text{ mol}$

Por otro lado, el nº de partículas α (núcleos de helio) emitidas en un año ($3{,}1536\text{x}10^7$ s) es:

$$N = 13{,}8\text{x}10^{10}\text{ part/s x } 3{,}1536\text{x}10^7\text{s} = 4{,}355\text{x}10^{18}\text{ part} = 4{,}355\text{x}10^{18}\text{ átomos de helio}$$

El nº de átomos de helio que corresponden a l mol serán:

$$N = n\,.\,N_A \rightarrow N_A = \frac{N}{n} = \frac{4{,}355\text{x}10^{18}}{7{,}065\text{x}10^{-6}} = 6{,}16\text{x}10^{23}\text{ átomos/mol}$$

3.- Calcular la vida media de un átomo de uranio si su periodo de semidesintegración es de 4500 millones de años

De acuerdo con la expresión $T_{1/2} = 0{,}693\,\tau$ se tiene $\tau = \frac{T_{1/2}}{0{,}693} = \frac{4{,}5\text{x}109}{0{,}693}$ años = $6{,}5\text{x}10^9$ años

4.- Una cierta cantidad de sustancia radiactiva se reduce a la cuarta parte al cabo de 10 días. Calcular su periodo de semidesintegración.

Por un lado, $T = \frac{\ln 2}{\lambda} \rightarrow \lambda = \frac{\ln 2}{T}$ Por otro lado, $N = N_0\, e^{-\lambda . t} = N_0\, e^{-\frac{\ln 2}{T}.t}$

Sustituyendo datos, simplificando y tomando logaritmos neperianos en los dos miembros de la ecuación. resulta:

$$\frac{N_o}{4} = N_0 . e^{-\frac{\ln 2}{T} 10 \text{días}} \rightarrow \frac{1}{4} = e^{-\frac{\ln 2}{T} 10 \text{días}} \rightarrow -\ln 4 = -\frac{\ln 2}{T} . 10 \text{días} \rightarrow T = \frac{\ln 2}{2 . \ln 2} . 10 \text{días} = 5 \text{días}$$

Esta respuesta cabía encontrarla, sin necesidad de operación alguna. En efecto, si en 10 días la muestra se reduce a la cuarta parte, en cinco días se reduce a la mitad; pero éste es justamente el significado de periodo de semidesintegración.

5.- La vida media del torio $^{234}_{90}Th$ es de 24 días. ¿Qué cantidad de torio permanecerá sin desintegrarse al cabo de 96 días?

La vida media τ se relaciona con el periodo de semidesintegración $T_{1/2}$ y con la constante radiactiva λ así: $\tau = \frac{1}{\lambda} = \frac{T_{1/2}}{\ln 2}$

La ley de desintegración es: $N = N_0 e^{-\lambda . t} = N_0 . e^{-t/\tau}$

Por tanto, $N = N_0\, e^{-\frac{96}{24}} = N_0 . e^{-4} \Rightarrow \frac{N}{N_0} = e^{-4} = 0{,}0183 \rightarrow$ El 1,83 % de la muestra de torio queda aún por desintegrarse.

6.- Calcular la masa de deuterio que requeriría cada día una hipotética central de fusión de 500 MW de potencia eléctrica en la que la energía se obtuviese del proceso $2\ ^2_1H \rightarrow ^4_2He$, suponiendo un rendimiento del 30% .
Masa atómica del deuterio: 2,01474 u
Masa atómica del helio: 4,00387 u
1 u = 1,66x10^{-27} kg
Número de Avogadro: N = 6,02x10^{23} átomos/mol

Para conseguir, con un rendimiento del 30%, una potencia de 500 MW se precisaría producir energía con una potencia de

$$P = \frac{100}{30} . 500 = 1666{,}7 \text{ MW} = 1{,}667 \text{x} 10^9 \text{ W}$$

que supone una energía por día de $E = P.t = 1{,}667\text{x}10^9\text{x}24\text{x}3600 = 1{,}44\text{x}10^{14}$ J. Esta energía ha de provenir del "defecto de masa" que se opera en la formación de los núcleos de helio a partir de núcleos de deuterio, según la reacción nuclear señalada en el enunciado: $2\ ^2_1H \rightarrow ^4_2He$

$$\Delta m = 2.m_{deut} - m_{He} = (2\text{x}2{,}01474 - 4{,}00387)\text{u} = 0{,}02561 \text{ u x} 1{,}66\text{x}10^{-27} \text{ kg/u} = 4{,}25\text{x}10^{-29} \text{ kg}$$

La energía liberada, por núcleo de helio formado, es

$$\Delta E = \Delta m . c^2 = 4{,}25\text{x}10^{-29} \text{ x} (3\text{x}10^8)^2 = 3{,}83\text{x}10^{-12} \text{ J}$$

El nº de núcleos de helio que se han de formar, por día, es

$$N(He) = \frac{E}{\Delta E} = \frac{1{,}44\text{x}10^{14}}{3{,}83\text{x}10^{-12}} = 3{,}76\text{x}10^{25} \text{ núcleos de helio}$$

que corresponden a un nº doble de núcleos de deuterio, según la reacción, o sea

$N(deut) = 2\ N(He) = 7{,}53x10^{25}$ núcleos de deuterio.

Su masa es la siguiente:

Nº de moles de deuterio: $n(deut) = \frac{N(deut)}{N_A} = \frac{7{,}53x10^{25}}{6{,}02x10^{23}} = 125$ mol deut.

$m(deut) = n(deut).M(deut) = 125$ mol x 2,01474 g/mol = 251,9 g deut.

Así pues, se requieren 251,9 gramos de deuterio por día para obtener la potencia deseada.

ACTIVIDADES PROPUESTAS

1.- La vida media del $^{210}_{84}Po$ es de 138 días. Si se dispone inicialmente de 1 g de polonio, ¿al cabo de cuántos días quedarán únicamente 0,25 g? ***R.: 191,3 días***

2.- El $^{222}_{86}Rn$ se desintegra con un periodo de 3,9 días. Si inicialmente se dispone de 20 μg de radón, ¿cuánto queda al cabo de 6 días? ***R.: 6,9 μg***

3.- El periodo de un elemento radiactivo es de 28 años. La constante de Abogador vale N_A = 6,023x10[23] y la masa atómica del elemento es 238.
a) ¿Cuánto tiempo tiene que transcurrir para que su cantidad se reduzca al 75 % de la muestra inicial?
b) Si en un momento dado la masa es de 0,1 mg de átomos que emiten partículas α, ¿qué cantidad de átomos de helio se formarán, por unidad de tiempo, en ese instante? ¿Y al cabo de 5000 días? ***R.: a) 11,6 años.- b) 2x10^8 part.α/s.- 1,4x10^8 part.α/s***

4.- Una partícula α puede desintegrarse, entre otras, de las siguientes formas:

$$\alpha \rightarrow\ ^{3}_{2}He + n \qquad \alpha \rightarrow 2\,p + 2\,n$$

¿Son posibles espontáneamente estos procesos o requieren energía? En tal caso, determinarla. Datos: Masa del neutrón: 939,55 MeV/c^2.- Masa del protón: 938,26 MeV/c^2.- Energía de enlace por nucleón para el $^{3}_{2}He$: 2,60 MeV/nucl.- Energía de enlace por nucleón para la partícula α: 7,07 MeV/nucl. ***R.: Las desintegraciones no pueden ser espontáneas. En el caso1º se requiere 20,48 MeV/part.α.- En el 2º, 28,28 MeV/part.α***

5.- La fisión de $^{235}_{92}U$, al capturar un neutrón, produce $^{95}_{38}Sr$, $^{139}_{54}Xe$ y dos neutrones. Escribir la reacción y calcular la energía liberada por núcleo de uranio fisionado Datos de masas atómicas: M($^{235}_{92}U$) = 235,0439 u.- M($^{95}_{38}Sr$) = 94,9403 u.- M($^{139}_{54}Xe$) = 138,9301 u.- Masa del neutrón, 1,0087 u.

<u>Dato:</u> $1\ u = \dfrac{1}{N_A}$ *gramos/átomo siendo* N_A *= 6,02x10^{23} átomos/mol*

R.: Energía liberada, 153,5 MeV/nucl.

6.- Una central nuclear de una potencia de 1 GW (gigavatio) utiliza como combustible uranio natural que contiene un 0,7 % del isótopo fisible $^{238}_{92}U$. ¿Cuántos kilogramos de uranio natural se consumirán en un día de funcionamiento, si la energía total liberada con ocasión de la fisión de un átomo de $^{238}_{92}U$ es de 200 MeV y se supone que no hay pérdidas energéticas apreciables en la central? Dato: Masa atómica del $^{238}_{92}U$, 238,03 g/mol. ***R.: 152,5 kg***

7.- Una muestra de madera procedente de la caja de una momia egipcia da 13536 desintegraciones por día, por cada gramo de carbona. Establecer la edad de la caja, de la momia. Datos: Un gramo de una muestra actual de carbono experimenta 920 desintegraciones por hora; el periodo de semidesintegración del carbono-14 es 5730 años. ***R.: 4045 años***

828,7

ISÓTOPOS: Núcleos estables y cuasiestables

Periodos $\geq 5x10^{10}$ años

TABLA 4A Isótopos naturales de algunos elementos ligeros*

Elemento	Z	*Isótopo* A	*Masa atómica*	*Abundancia natural en %*
H	1	1	1,007825	99,985
		2	2,01410	0,015
He	2	3	3,01603	0,00013
		4	4,00260	100
Li	3	6	6,01513	7,42
		7	7,01601	92,58
Be	4	9	9,01219	100
B	5	10	10,01294	19,6
		11	11,00931	80,4
C	6	12	12,000000	98,89
		13	13,00335	1,11
N	7	14	14,00307	99,63
		15	15,00011	0,37
O	8	16	15,99491	99,759
		17	16,99914	0,037
		18	17,99916	0,204
F	9	19	18,99840	100
...	...	...	...	...
S	16	32	31,97207	95,0
		33	32,97146	0,76
		34	33,96786	4,22
		36	35,96709	0,014
Cl	17	35	34,96885	75,53
		37	36,96590	24,47
...	...	...	...	...

